

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-151965

(43)Date of publication of application : 31.05.1994

(51)Int.Cl. H01L 33/00

(21)Application number : 04-316600

(71)Applicant : TOYODA GOSEI CO LTD

(22)Date of filing : 29.10.1992

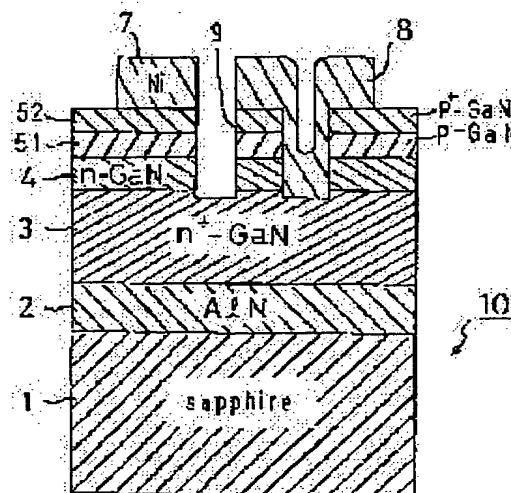
(72)Inventor : MANABE KATSUhide
SASA MICHINARI
NOIRI SHIZUYO
UMEZAKI JUNICHI

(54) NITROGEN-III COMPOUND SEMICONDUCTOR LUMINOUS ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the luminance and life of an AlGaInN light emitting diode.

CONSTITUTION: A 500Å AIN buffer layer 2, high carrier concentration n⁺-layer 3, approx. 2.2 μm in film thickness and 2 × 10¹⁸/cm³ in electron density, made of silicon-doped GaN, low carrier concentration n-layer 4, approx. 1.5 μm and 1 × 10¹⁶/cm³, composed of non-doped GaN, low carrier concentration p-layer 51, approx. 0.5 μm and 1 × 10¹⁶/cm³ in hole density, made of Mg-doped GaN, and high carrier concentration p⁺-layer 52, approx. 0.2 μm and 2 × 10¹⁷/cm³ in hole density, are formed on a sapphire substrate 1 in this order. The n-layers is of double structure of the low carrier concentration n-layer 4 and high carrier concentration n⁺-layer 3 in the order from the one nearest the p-layer; the p-layers is also of double structure of the low carrier concentration p-layer 51 and high carrier concentration p⁺-layer 52 in the order from the one nearest the n-layers. As a result, the luminance and life are improved.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.03.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted to registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2626431

[Date of registration] 11.04.1997

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] n type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) from — n becoming layers p type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) from — p becoming layers They are n layers of low carrier concentration, and high carrier concentration n^+ to the order from the side which is the light emitting device equipped with the above, and joins the n aforementioned layers to the p aforementioned layers. They are p layers of low carrier concentration, and high carrier concentration p^+ to the order from the side which considers as dual structure with a layer and joins the p aforementioned layers to the n aforementioned layers. It is characterized by considering as dual structure with a layer.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the nitrogen-3 group element compound semiconductor light emitting device of blue luminescence.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, it is GaN as blue light emitting diode. The thing using the compound semiconductor of a system is known. The GaN Since the compound semiconductor of a system is a transited [directly] type , it attracts attention from that luminous efficiency is high, making into the luminescent color blue it is [blue] one in three primary colors of the light, etc.

[0003] Recently and GaN It is p type GaN by also setting, doping Mg and irradiating an electron ray. Being obtained became clear. Consequently, GaN which changes to junction to n conventional layers and a conventional half-insulating layer (i layers), and has pn junction Light emitting diode is proposed.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, even if it is the light emitting diode which has the above-mentioned pn junction, luminescence brightness is not yet enough and sufficient thing is not obtained about the life. Then, the purpose of this invention is a nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included). It is protracting raising the luminescence brightness of light emitting diode, and an element life.

[0005]

[Means for Solving the Problem] this invention — n type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) from — with n becoming layers p type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) In the nitrogen-3 group element compound semiconductor light emitting device which has p becoming layers from — They are n layers of low carrier concentration, and high carrier concentration n^+ to the order from the side which joins n layers to p layers. They are p layers of low carrier concentration, and high carrier concentration p^+ to the order from the side which considers as dual structure with a layer and joins p layers to n layers. It is characterized by considering as dual structure with a layer.

[0006] n type the layer and p which participate in the above-mentioned pn junction directly Carrier concentration the layer of type Abbreviation etc. is by carrying out in the range of 1×10^{14} to $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$, and things are desirable.

[0007]

[Function and Effect of the Invention] Since this invention made low carrier concentration of the layer of the side near pn junction, made high carrier concentration of the layer of the side which keeps away from pn junction and formed both n layers and p layers in the double layer, its luminescence brightness improved. luminescence brightness — 10mcd(s) it is — pn junction GaN of the former [brightness / luminescence / this] the luminescence brightness of light emitting diode — comparing — 2 It improved twice. Moreover, a luminescence life is 104. It is time and is the conventional pn junction GaN. 1.5 of the luminescence life of light emitting diode It is twice.

[0008]

[Example]

In 1st example drawing 1 , light emitting diode 10 has silicon on sapphire 1, and it is AlN of 500 ** to the silicon on sapphire 1. The buffer layer 2 is formed. the buffer-layer 2 top — order — thickness 2.2 [about] μm and silicon dope GaN of $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ of concentration of electrons cm^3 from — high carrier concentration n^+ which changes A layer 3 and thickness abbreviation 1.5 micrometers and non dope GaN of $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ of concentration of electrons cm^3 from — 4 is formed n layers of low carrier concentration which changes furthermore — low — carrier concentration n layer 4 top — order — thickness 0.5 [about] μm and Mg dope GaN of $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ of hole concentration cm^3 from — it changes — low — carrier concentration p layer 51 and thickness 0.2 [about] μm and high carrier concentration p^+ of $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ of hole concentration cm^3 The layer 52 is formed. And high carrier concentration p^+ The electrode 8 formed with the nickel linked to the electrode 7 and the high carrier concentration n^+ layer 3 which were formed with the nickel linked to a layer 52 is formed. Insulating separation of an electrode 8 and the electrode 7 is electrically carried out by the slot 9.

[0009] Next, the manufacture method of the light emitting diode 10 of this structure is explained. The above-mentioned light emitting diode 10 is an organometallic compound vapor growth (it is described as "MOVPE" below). It was manufactured by the vapor growth to depend. The used gas is NH_3 . Carrier gas H_2 and trimethylgallium ($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (it is described as "TMG" below) Trimethylaluminum ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (it is described as "TMA" below) They are a silane (SiH_4) and bis(cyclopentadienyl) magnesium ($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (it is described as "CP2Mg" below).

[0010] First, it is MOVPE about the silicon on sapphire 1 of the single crystal which makes a principal plane the A face washed with organic washing and heat treatment. The susceptor laid in the reaction chamber of equipment is equipped. Next, gas phase etching of the silicon on sapphire 1 was carried out at the temperature of 1100 degrees C, passing H_2 to a reaction chamber by part for rate-of-flow 2 liter/by the ordinary pressure.

[0011] Next, temperature It is made to fall to 400 degrees C, and they are a part for 20 liter/, and NH_3 about H_2 . A part for 10 liter /, and TMA It supplies by part for $1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/}$, and is AlN. A buffer layer 2 is abbreviation. It was formed in the thickness which is 500Å. The temperature of silicon on sapphire 1 is held at 1150 degrees C. H_2 A part for next, 20 liter/.

NH₃ A part for 10 liter/, and TMG A part for 1.7x10^{-four-mol/}, H₂ — 0.86 ppm up to — dilut d silan (SiH₄) a part for 200 ml/— comparatively — coming out — for 30 minut s — supplying — thickn ss abbr viation GaN of 2.2 micrometers and 2x10¹⁸/of conc ntration of el ctions cm³ from — high carri r concentration n<SUP>+ which changes The layer 3 was form d.

[0012] th n, th temperatur of silicon on sapphire 1 — 1150 degrees C — holding — H₂ — a part for 20 liter/, and NH₃ — a part for 10 liter/, and TMG a part for 1.7 x10^{-four-mol/} — comparatively — coming out — for 20 minutes — supplying — about 1:5 microm ters of thickness, and conc ntration of lectrons 1x10¹⁶ / cm³ GaN from — 4 was formed n layers of low carri r concentration which chang s

[0013] n xt, silicon on sapphire 1 — 1150 degre s C — carrying out — H₂ A part for 20 lit r/, and NH₃ A part for 10 liter/, and TMG 1.7x10^{-four-mol} a part for /and CP2Mg a part for 8x10^{-eight-mol/} — comparatively — coming out — for 7 minutes — supplying — thickness 0.5 GaN of mum from — 51 was formed p layers of low carrier concentration which changes In this state, 51 is still resistivity 108 p layers of low carrier concentration. It is an insulator more than omegacm.

[0014] Next, silicon on sapphire 1 was made into 1150 degrees C, and the high carrier concentration p+ layer 52 which consists of H₂ was formed. A part for 20 liter/, and NH₃ A part for 10 liter/, and TMG 1.7x10^{-four-mol} a part for /and CP2Mg At 3x10^{-seven-mol} the rate for / It supplies for 3 minutes and is thickness 0.2. GaN of mum In this state, it is high carri r concentration p+. A layer 52 is still resistivity 108. It is an insulator more than omegacm.

[0015] Next, reflection-electron line diffraction equipment is used and it is above-mentioned high carrier concentration p+. The l ction ray was irradiated uniformly a layer 52 and p layers of low carrier concentration 51. The irradiation conditions of an electron ray are 10kV of acceleration voltage, and a specimen current. They are 1microA, traverse-speed 0.2 mm/sec of a beam, beam-diameter 60micrometerphi, and degree of vacuum 2.1 x10⁻⁵Torr. By irradiation of this electron ray, 51 is hole concentration p layers of low carrier concentration. It becomes 1x10¹⁶-/cm³ and p conduction-type semiconductor with a r sistivity [cm] of 40ohms, and is high carrier concentration p+. A layer 52 is hole concentration. 2x10¹⁷-/cm³, resistivity It became p conduction-type semiconductor of 2-ohmcm. Thus, the wafer of multilayer structure as shown in drawing 2 was obtained.

[0016] Drawing 3 described below to drawing 7 is the cross section showing only one element on a wafer, and in practice, about the wafer with which this element was repeated continuously, processing is performed and it is cut for every element after that.

[0017] it is shown in drawing 3 — as — high carrier concentration p+ a layer 52 top — sputtering — SiO two-layer — 11 was formed in the thickness of 2000A Next, the photoresist 12 was applied on the SiO two-layer 11. And it is high carrier concentration p+ by Fort Lee SOGURAFU. It sets on a layer 52 and is high carrier concentration n+. They are the electrode formation part A corresponding to the hole 15 formed so that it may result in a layer 3, and its electrode formation section High carrier concentration p+ The photoresist of the part B which forms the slot 9 which carries out insulating separation with the electrode of a layer 52 was removed.

[0018] n xt, the SiO two-layer which is not covered by the photoresist 12 as shown in drawing 4 — 11 was removed by the hydrofluoric-acid system etching reagent Next, high carrier concentration p+ of the part which is not covered by a photor sist 12 and SiO two-layer 11 as shown in drawing 5 It is 4 and high carrier concentration n+ a layer 52, and p layer 51 and n layers of low carrier concentration of low carrier concentration under it. After supplying degree of vacuum 0.04Torr, RF power 0.44 W/cm², and BCl₃ gas at a rate for 10 ml/and carrying out dry etching of the upper surface of a layer 3 part, dry etching was carried out by Ar. At this process, it is high carrier concentration n+. The hole 15 for electrode drawing to a layer 3 and the slot 9 for insulating separation were formed.

[0019] n xt, it is shown in drawing 6 — as — high carrier concentration p+ the SiO two-layer which remains on the lay r 52 — 11 was removed by the hydrofluoric acid Next, as shown in drawing 7 , the nickel layer 13 was formed by vacuum vaporationo all over the upper [of a sample]. Thereby, in a hole 15, it is high carrier concentration n+. The nickel layer 13 electrically connected to the layer 3 is formed. And a photoresist 14 is applied on the nickel layer 13, and the photoresist 14 is high carrier concentration n+ by Fort Lee SOGURAFU. A layer 3 and high carrier concentration p+ Pattern formation was carried out to the predetermined configuration so that the electrode section to a layer 52 might remain.

[0020] N xt, as shown in drawing 7 , the outcrop of the lower layer nickel layer 13 was *****ed by the nitric-acid syst m etching reagent by using the photoresist 14 as a mask. At this time, the nickel layer 13 by which vacuum vaporationo was carried out to the slot 9 for insulating separation is removed completely. Next, an acetone removes a photoresist 14 and it is high carrier concentration n+. The electrode 8 of a layer 3, and high carrier concentration p+ The electrode 7 of a layer 52 was left behind. Then, like the above, the processed wafer was cut for every element and obtained the gallium-nitride system light emitting device of pn structure shown in drawing 1 .

[0021] thus, the place which measured the luminescence intensity of the manufactured light emitting diode 10 — 10mcd it is — GaN of the pn junction of the former [brightness / luminescence / this] the luminescence brightness of light emitting diode — comparing — It was double precision. Moreover, a luminescence life is 104. It is time and is GaN of the conv ntional pn junction. It compares with the luminescence life of light emitting diode, and is 1.5. It was twice.

[0022] In addition, it is methyl bis(cyclopentadienyl) magnesium (C₆H₇) Mg 2 besides the gas above-mentioned [the doping gas of the magnesium Mg used in the above-mentioned example]. You may use.

[0023] The concentration of electrons of 4 is 1x10¹⁴ — 1x10¹⁶-/cm³ the n layers of the above-mentioned low carrier conc ntration. Thickness 0.5 to 2 micrometer is desirable. concentration of electrons 1x10¹⁶-/cm³ since luminescence intensity will fall if it becomes the above, it is not desirable — 1x10¹⁴-/cm³ Since the s ries resistance of a light emitting devic will b come high too much if it becomes the following, and it will generate h at if curr nt is passed, it is not desirable. Moreover, thickness Since the series r sistance of a light emitting device will b come high too much if set to 2 micrometers or more, and it will generate heat if current is pass d, thickn ss desirably Since lumin scence intensity will fall if set to 0.5 micrometers or less, it is not desirable.

[0024] Furth rmore, high carrier concentration n+ Conc ntration of electrons of a lay r 3 1x10¹⁶ — 1x10¹⁹-/cm³ Thickness 2-10 micrometers is desirable. concentration of electrons 1x10¹⁹-/cm³ since crystallinity will get worse if it becomes the above, it is not desirable — 1x10¹⁶-/cm³ Since the series resistance of a light emitting device will become high too much if it becomes the following, and it will generate heat if current is passed, it is not desirable. Moreover, since a

substrate will curve if thickness is set to 10 micrometers or more, thickness desirably Since the series resistance of a light emitting diode will become high too much if set to 2 micrometers or less, and it will generate heat if current is passed, it is not desirable.

[0025] Moreover, the hole concentration of 51 is $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ the p layers of the above-mentioned low carrier concentration. Thickness is 0.2-1. μm is desirable. Hole concentration $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ if it becomes the above, since matching with 4 will become bad n layers of low carrier concentration and luminous efficiency will fall, it is not desirable. $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ If it becomes the following, since series resistance will become high too much, it is not desirable. Moreover, thickness If set to 1 micrometers or more, since series resistance will become high, thickness is 0.2 desirably. If it becomes below μm , since luminescence brightness will fall, it is not desirable.

[0026] Furthermore, high carrier concentration p+ Hole concentration of a layer 52 $1 \times 10^{16} - 2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ Thickness is 0.2. μm is desirable. Hole concentration $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ The above p+ A layer is not made. $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ Since series resistance becomes high when it comes to the following, it is not desirable. Moreover, thickness is 0.5. If it becomes more than μm , since series resistance will become high, thickness is 0.1 desirably. If it becomes below μm , since the injection efficiency of a hole will decrease, it is not desirable.

[0027] In 2nd example drawing 8, light emitting diode 10 has silicon on sapphire 1, and it is AlN of 500 \AA to the silicon on sapphire 1. The buffer layer 2 is formed, the buffer-layer 2 top — order — thickness 2.2 [about] μm and concentration of electrons Silicon dope GaN of $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ from — high carrier concentration n+ which changes A layer 3 and thickness abbreviation 1.5 micrometers and concentration of electrons Non dope GaN of $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ from — 4 is formed n layers of low carrier concentration which changes furthermore — low — carrier concentration n layer 4 top — order — thickness 0.5 [about] μm and Mg concentration Mg dope GaN of $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ from — it changes — low — high-impurity-concentration i layer 61 and thickness 0.2 [about] μm and Mg concentration High high-impurity-concentration i+ of $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ The layer 62 is formed.

[0028] And it is 61 and high high-impurity-concentration i+ layers of the low high impurity concentration. Hole concentration formed into p conduction type by electron beam irradiation in the predetermined field of a layer 62, respectively They are 501 and hole concentration p layers of low carrier concentration of $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$. High carrier concentration p+ of $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ The layer 502 is formed.

[0029] Moreover, high high-impurity-concentration i+ It is high high-impurity-concentration [from the upper surface of a layer 62] i+. 4 is penetrated a layer 62, and i layer 61 and n layers of low carrier concentration of low high impurity concentration, and it is high carrier concentration n+. The hole 15 which results in a layer 3 is formed. It passes along the hole 15 and is high carrier concentration n+. The electrode 81 formed with the nickel joined to the layer 3 is high high-impurity-concentration i+. It is formed on the layer 62. Moreover, high carrier concentration p+ In the upper surface of a layer 502, it is high carrier concentration p+. The electrode 71 formed with the nickel to a layer 502 is formed. High carrier concentration n+ The electrode 81 to a layer 3 is high carrier concentration p+. It is [as opposed to / 501 / a layer 502 and p layers of low carrier concentration] high high-impurity-concentration i+. Insulating separation is carried out by 61 a layer 62 and i layers of low high impurity concentration.

[0030] Next, the manufacture method of the light emitting diode 10 of this structure is explained. Drawing 9 which shows a manufacturing process to drawing 15 is a cross section only about one in a wafer, and the next manufacture processing is performed about the wafer with which the element shown in drawing in fact was formed repeatedly. And finally, a wafer is cut and each light emitting device is formed.

[0031] The wafer shown in drawing 9 is manufactured like the 1st example. next, it is shown in drawing 10 — as — high high-impurity-concentration i+ a layer 62 top — sputtering — SiO two-layer — 11 was formed in the thickness of 2000 \AA . Next, the photoresist 12 was applied on the SiO two-layer 11. And it is high high-impurity-concentration i+ by Fort Lee SOGURAFU. It sets in a layer 62 and is high carrier concentration n+. The photoresist of the electrode formation part A corresponding to the hole 15 formed so that it may result in a layer 3 was removed.

[0032] next, the SiO two-layer which is not covered by the photoresist 12 as shown in drawing 11 — 11 was removed by the hydrofluoric-acid system etching reagent Next, high high-impurity-concentration i+ of the part which is not covered by a photoresist 12 and SiO two-layer 11 as shown in drawing 12 They are 4 and high carrier concentration n+ a layer 62, and i layer 61 and n layers of low carrier concentration of low high impurity concentration under it. After supplying degree of vacuum 0.04Torr, RF power 0.44 W/ cm^2 , and BCl₃ gas at a rate for 10 ml/and carrying out dry etching of the upper surface of a layer 3 part, dry etching was carried out by Ar. At this process, it is high carrier concentration n+. The hole 15 for electrode drawing to a layer 3 was formed. next, it is shown in drawing 13 — as — high high-impurity-concentration i+ the SiO two-layer which remains on the layer 62 — 11 was removed by the hydrofluoric acid

[0033] Next, as shown in drawing 14, it is high high-impurity-concentration i+. Hole concentration which uses reflection-electron line diffraction equipment only for the predetermined field of 61, irradiates an electron ray a layer 62 and i layers of low high impurity concentration, and shows p conduction type, respectively High carrier concentration p+ of $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 501 was formed a layer 502 and p layers of low carrier concentration of $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ of hole concentration cm^3 .

[0034] The irradiation conditions of an electron ray are 10kV of acceleration voltage, and a specimen current. They are 1microA, traverse-speed 0.2 mm/sec of a beam, beam-diameter 60micrometerphi, and degree of vacuum 2.1×10^{-5} Torr. At this time, it is high carrier concentration p+. A layer 502 and portions other than p layer 501 of low carrier concentration, i.e., the portion by which an electron ray was not irradiated, are high high-impurity-concentration i+ of an insulator. It is still 61 a layer 62 and i layers of low high impurity concentration. Therefore, high carrier concentration p+ A layer 502 and p layers of low carrier concentration, 501 is [as opposed to / the circumference / in a longitudinal direction] high high-impurity-concentration i+, although it flows in 4 n layers of low carrier concentration to lengthwise. Insulating separation is electrically carried out by 61 a layer 62 and i layers of low high impurity concentration.

[0035] Next, as shown in drawing 15, it is high carrier concentration p+. A layer 502 and high high-impurity-concentration i+ A layer 62 and high high-impurity-concentration i+ It passes along the upper surface and the hole 15 of a layer 62, and is high carrier concentration n+. The nickel layer 20 was formed in the layer 3 of vacuum evaporation. And a photoresist 21 is applied on the nickel layer 20, and the photoresist 21 is high carrier concentration n+ by Fort Lee SOGURAFU. A layer 3 and high carrier concentration p+ Pattern formation was carried out to the predetermined configuration so that the

el ctrode section to a layer 502 might remain. Next, the outcrop of th low r layer nick l lay r 20 was *****ed by the nitric-acid syst m tching reagent by having used the photoresist 21 as the mask, and the ac ton r moved the photoresist 21. Thus, as shown in drawing 8, it is high carrier conc ntration n+. The lectrod 81 of a lay r 3, and high carri r conc ntration p+ The l ctrod 71 of a layer 502 was formed. Th n, the wafer formed as mentioned above was cut for every lement.

[0036] thus, the plac which measured the luminesc nc intensity of the manufactured light emitting diode 10 — the 1st xample — the same — 10mcd it is — a luminescence life — 104 It was time.

[0037] As shown in 3rd exampl drawing 16, light emitting diode 10 can also be constituted. nam ly, a buffer-layer 2 top — order — thickness 0.2 [about] mum and hole concentration High carrier conc ntration p+ of 2×10^{17} —/cm³ A layer 52 and thickness 0.5 [about] mum and Mg dope GaN of 1×10^{15} /of hole conc ntration cm³ from — 51 is formed p layers of low carri r concentration which changes and the p layer 51 top of low carrier concentration — order — thickness abbreviation 1.5 micrometers and concentration of electrons Non dope GaN of 1×10^{15} —/cm³ from — it changes — low — carrier concentration n layer 4 and thickness 2.2 [about] mum and concentration of electrons Silicon dope GaN of 2×10^{18} —/cm³ from — high carrier concentration n+ which changes The layer 3 is formed.

[0038] And high carrier concentration p+ The electrode 72 and high carrier concentration n+ which were formed with the nickel linked to a layer 52 The electrode 82 formed with the nickel linked to a layer 3 is formed. An electrode 82 and an

l ctrode 72 are high carrier concentration n+. Insulating separation is electrically carried out by the layer 3 and the slot 91 formed in 51 n layer 4 and p layers of low carrier concentration of low carrier concentration.

[0039] Thus, unlike the 1st example, this example makes reverse deposition sequence over the substrate 1 of p layers and n lay rs. Manufacture can be performed like the 1st example.

[0040] It sets to the light emitting diode of the 1st example of the structure shown in 4th example drawing 1, and is 51 and high carrier concentration p+ the high carrier concentration n+ layer 3, and n layer 4 and p layers of low carrier conc ntration of low carrier concentration. The layer 52 was set to aluminum0.2Ga0.5In0.3N, respectively. High carrier conc ntration n+ The layer 3 added silicon, formed it in 2×10^{18} /of concentration of electrons cm³, and formed 4 in 1×10^{16} /of concentration of electrons cm³ by impurity additive-free n layers of low carrier concentration. p layers of low carrier concentration, magnesium (Mg) is added, an electron ray is irradiated, it forms in electron hole concentration 1×10^{16} —/cm³, and 51 is high carrier concentration p+. Similarly a layer 52 adds magnesium (Mg), irradiates an electron ray, and is l ctrode hole concentration. It formed in 2×10^{17} —/cm³. And high carrier concentration p+ The electrode 7 and high carrier concentration n+ which were formed with the nickel linked to a layer 52 The electrode 8 formed with the nickel linked to a layer 3 was formed.

[0041] N xt, the light emitting diode 10 of this structure as well as the light emitting diode of the 1st example can be manufactured. Trimethylindium (In3 (CH3)) is TMG, TMA, a silane, and CP2Mg. In addition to gas, it was used. Generation temperature and the quantity of gas flow are the same as the 1st example. Trimethylindium Except for supplying by part for 1.7×10^{-4} —mol/, the flow rate of other gas is the same as that of the 1st example.

[0042] Next, like the 1st example, reflection-electron line diffraction equipment is used and it is above-mentioned high carrier concentration p+. The electron ray was irradiated uniformly a layer 52 and p layers of low carrier concentration 51, and p conduction-type semiconductor was able to be obtained.

[0043] thus, the place which measured the luminescence intensity of the manufactured light emitting diode 10 — 10mcd it is — GaN of the pn junction of the former [brightness / luminescence / this] the luminescence brightness of light emitting diod — comparing — It was double precision. Moreover, a luminescence life is 104. It is time and is GaN of the conventional pn junction. It compares with the luminescence life of light emitting diode, and is 1.5. It was twice.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram having shown the composition of the light emitting diode concerning the 1st concrete example of this invention.

[Drawing 2] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 3] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 4] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 5] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 6] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 7] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 8] The block diagram having shown the composition of the light emitting diode concerning the 2nd concrete example of this invention.

[Drawing 9] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 10] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 11] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 12] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 13] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 14] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 15] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 16] The block diagram having shown the composition of the light emitting diode concerning the 3rd concrete example of this invention.

[Description of Notations]

10 — Light emitting diode

1 — Silicon on sapphire

2 — Buffer layer

3 — Quantity carrier concentration n⁺ Layer

4 — n layers of low carrier concentration

51, 501 — p layers of low carrier concentration

52, 502 — Quantity carrier concentration p⁺ Layer

61 — i layers of low high impurity concentration

62 — Quantity high-impurity-concentration i⁺ Layer

7, 8, 71, 72, 81, 82 — Electrode

9, 91 — Slot

[Translation done.]

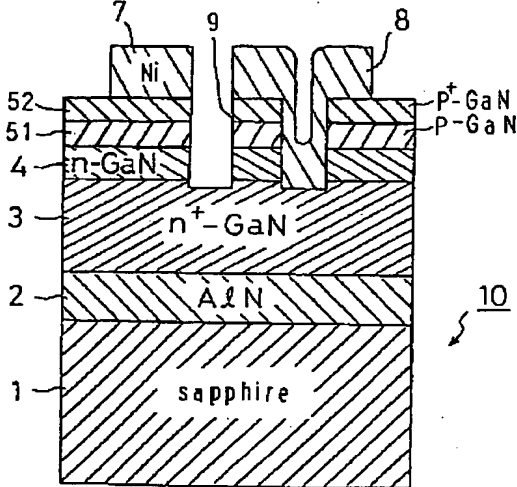
* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

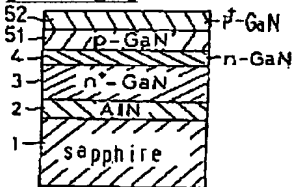
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

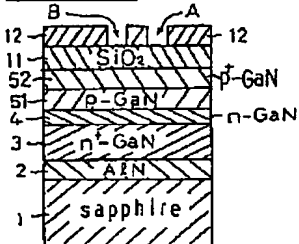
[Drawing 1]



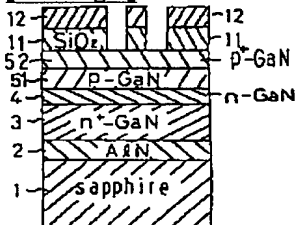
[Drawing 2]



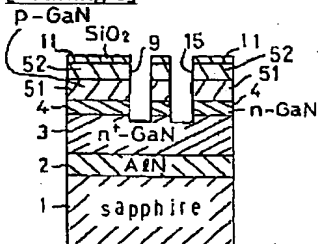
[Drawing 3]



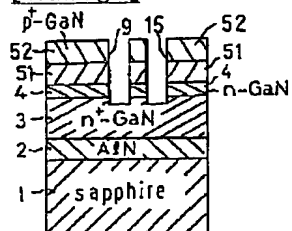
[Drawing 4]



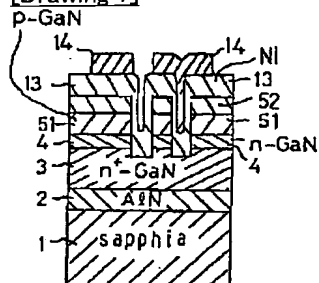
[Drawing 5]



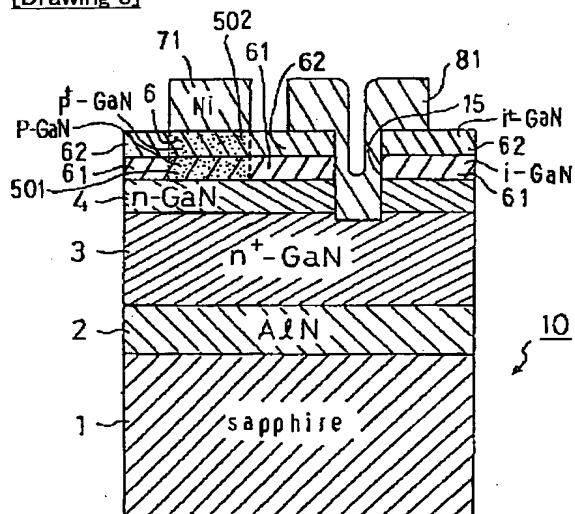
[Drawing 6]



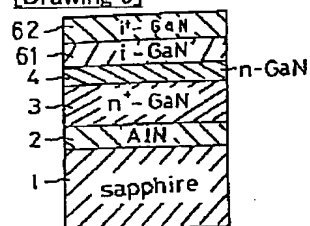
[Drawing 7]



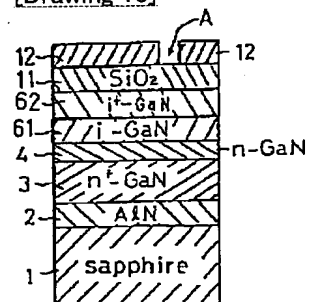
[Drawing 8]



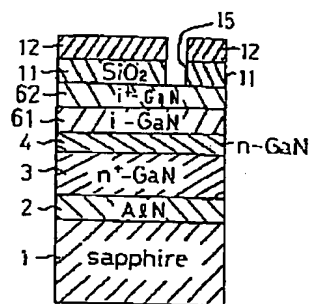
[Drawing 9]



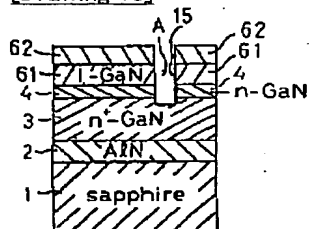
[Drawing 10]



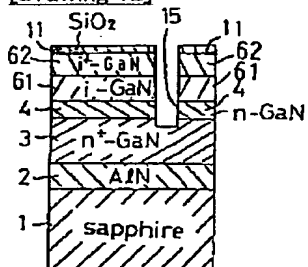
[Drawing 11]



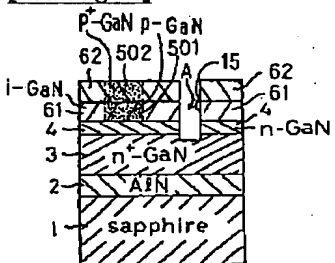
[Drawing 13]



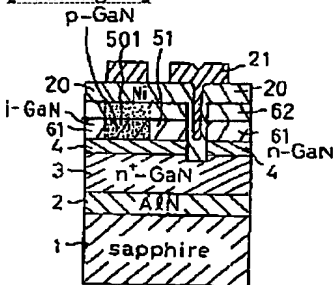
[Drawing 12]



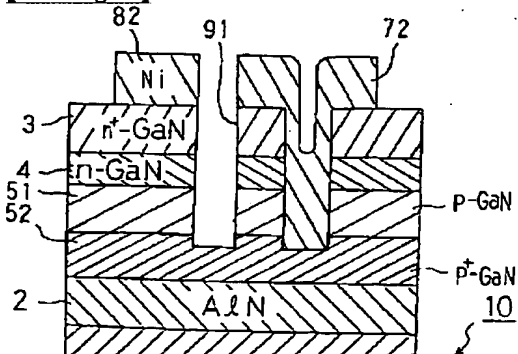
[Drawing 14]

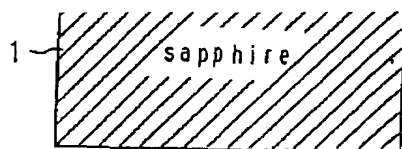


[Drawing 15]



[Drawing 16]





[Translation done.]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 6 - 1 5 1 9 6 5

(43) 公開日 平成6年(1994)5月31日

(51) Int. Cl.⁵

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 7376-4 M

審査請求 未請求 請求項の数 1

(全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平4-316600

(22) 出願日 平成4年(1992)10月29日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地

(72) 発明者 真部 勝英

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 佐々 道成

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

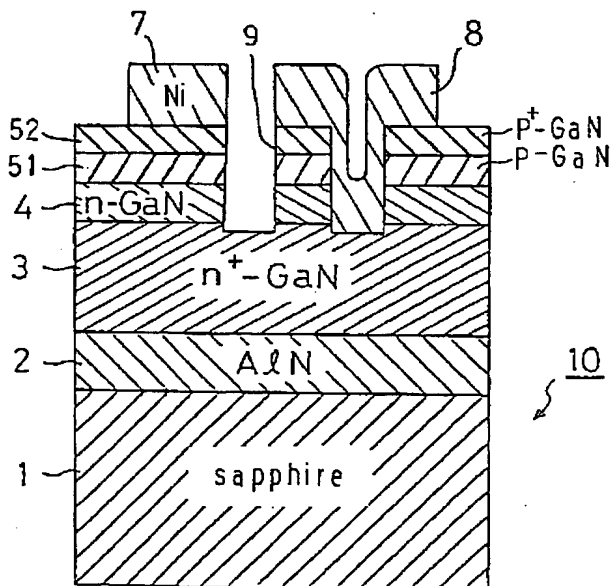
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒素-3 属元素化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 AlGaInN 発光ダイオードにおける発光輝度及び発光寿命の向上

【構成】 サファイア基板 1 に、順に、500 Å の AlN のバッファ層 2、膜厚約 2.2 μm、電子濃度 $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のシリコンドープ GaN から成る高キャリア濃度 n⁺ 層 3、膜厚約 1.5 μm、電子濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のノンドープ GaN から成る低キャリア濃度 n 層 4、膜厚約 0.5 μm、ホール濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の Mg ドープ GaN から成る低キャリア濃度 p 層 5 1、膜厚約 0.2 μm、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 p⁺ 層 5 2 が形成されている。n 層は p 層に近い順に、低キャリア濃度 n 層 4 と高キャリア濃度 n⁺ 層 3 の 2 重構造であり、p 層は n 層から近い順に、低キャリア濃度 p 層 5 1 と高キャリア濃度 p⁺ 層 5 2 の 2 重構造である。この結果、発光輝度及び素子寿命の向上が見られた。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 n 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる n 層と、p 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる p 層とを有する窒素-3 属元素化合物半導体発光素子において、前記 n 層を、前記 p 層と接合する側から順に、低キャリア濃度 n 層と高キャリア濃度 n^+ 層との二重構造とし、前記 p 層を、前記 n 層と接合する側から順に、低キャリア濃度 p 層と高キャリア濃度 p^+ 層との二重構造としたことを特徴とする発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は青色発光の窒素-3 属元素化合物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来技術】 従来、青色の発光ダイオードとして GaN 系の化合物半導体を用いたものが知られている。その GaN 系の化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高いこと、光の 3 原色の 1 つである青色を発光色とすること等から注目されている。

【0003】 最近、GaN においても、Mg をドーピングして電子線を照射することにより p 型の GaN が得られることが明らかとなった。この結果、従来の n 層と半絶縁層 (i 層) との接合に換えて p n 接合を有する GaN 発光ダイオードが提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記の p n 接合を有する発光ダイオードであっても、発光輝度は未だ十分ではなく、また、寿命に関しても十分なものが得られていない。そこで、本発明の目的は、窒素-3 属元素化合物半導体 ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) 発光ダイオードの発光輝度を向上させること及び素子寿命を長期化することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明は、n 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる n 層と、p 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる p 層とを有する窒素-3 属元素化合物半導体発光素子において、n 層を、p 層と接合する側から順に、低キャリア濃度 n 層と高キャリア濃度 n^+ 層との二重構造とし、p 層を、n 層と接合する側から順に、低キャリア濃度 p 層と高キャリア濃度 p^+ 層との二重構造としたことを特徴とする。

【0006】 上記の p n 接合に直接関与する n 型の層及び p 型の層は、キャリア濃度が $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の範囲で略等しいことが望ましい。

【0007】

【発明の作用及び効果】 本発明は、p n 接合に近い側の

層のキャリア濃度を低くし、p n 接合から遠ざかる側の層のキャリア濃度を高くして、n 層及び p 層を共に二重層に形成したので、発光輝度が向上した。発光輝度は 10 mcd であり、この発光輝度は従来の p n 接合 GaN 発光ダイオードの発光輝度に比べて、2 倍に向上した。又、発光寿命は 10^4 時間であり、従来の p n 接合 GaN 発光ダイオードの発光寿命の 1.5 倍である。

【0008】

【実施例】

第 1 実施例

図 1 において、発光ダイオード 10 は、サファイア基板 1 を有しており、そのサファイア基板 1 に 500 Å の AlN のバッファ層 2 が形成されている。そのバッファ層 2 の上には、順に、膜厚約 $2.2 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドーピング GaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層 3、膜厚約 $1.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のノンドーピング GaN から成る低キャリア濃度 n 層 4 が形成されている。更に、低キャリア濃度 n 層 4 の上には、順に、膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ 、ホール濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の Mg ドーピング GaN から成る低キャリア濃度 p 層 51、膜厚約 $0.2 \mu\text{m}$ 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 p^+ 層 52 が形成されている。そして、高キャリア濃度 p^+ 層 52 に接続するニッケルで形成された電極 7 と高キャリア濃度 n^+ 層 3 に接続するニッケルで形成された電極 8 とが形成されている。電極 8 と電極 7 とは、溝 9 により電氣的に絶縁分離されている。

【0009】 次に、この構造の発光ダイオード 10 の製造方法について説明する。上記発光ダイオード 10 は、有機金属化合物気相成長法 (以下「MOVPE」と記す) による気相成長により製造された。用いられたガスは、 NH_3 とキャリアガス H_2 とトリメチルガリウム ($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す) とトリメチルアルミニウム ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す) とシラン (SiH_4) とビスシクロペンタジエニルマグネシウム ($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「 CP_2Mg 」と記す) である。

【0010】 まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄した A 面を主面とする単結晶のサファイア基板 1 を MOVPE 装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧で H_2 を流速 2 liter/分 で反応室に流しながら温度 1100°C でサファイア基板 1 を気相エッチングした。

【0011】 次に、温度を 400°C まで低下させて、 H_2 を 20 liter/分、 NH_3 を 10 liter/分、TMA を 1.8×10^{-6} モル/分 で供給して AlN のバッファ層 2 が約 500 Å の厚さに形成された。次に、サファイア基板 1 の温度を 1150°C に保持し、 H_2 を 20 liter/分、 NH_3 を 10 liter/分、TMG を 1.7×10^{-4} モル/分、 H_2 で 0.86 ppm まで希釈したシラン (SiH_4) を 200 ml/分の割合で 30 分間供給し、膜厚約 $2.2 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の GaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層 3 を形成した。

【0012】 続いて、サファイア基板 1 の温度を 1150°C

に保持し、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-4} モル/分の割合で20分間供給し、膜厚約 $1.5 \mu m$ 、電子濃度 $1 \times 10^{16}/cm^3$ のGaNから成る低キャリア濃度n層4を形成した。

【0013】次に、サファイア基板1を $1150^\circ C$ にして、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-4} モル/分、 CP_2Mg を 8×10^{-8} モル/分の割合で7分間供給して、膜厚 $0.5 \mu m$ のGaNから成る低キャリア濃度p層51を形成した。この状態では、低キャリア濃度p層51は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0014】次に、サファイア基板1を $1150^\circ C$ にして、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-4} モル/分、 CP_2Mg を 3×10^{-7} モル/分の割合で3分間供給して、膜厚 $0.2 \mu m$ のGaNから成る高キャリア濃度p⁺層52を形成した。この状態では、高キャリア濃度p⁺層52は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0015】次に、反射電子線回析装置を用いて、上記の高キャリア濃度p⁺層52及び低キャリア濃度p層51に一樣に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧10KV、試料電流 $1 \mu A$ 、ビームの移動速度 $0.2 mm/sec$ 、ビーム径 $60 \mu m \phi$ 、真空度 $2.1 \times 10^{-6} Torr$ である。この電子線の照射により、低キャリア濃度p層51は、ホール濃度 $1 \times 10^{16}/cm^3$ 、抵抗率 $40 \Omega cm$ のp伝導型半導体となり、高キャリア濃度p⁺層52は、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/cm^3$ 、抵抗率 $2 \Omega cm$ のp伝導型半導体となった。このようにして、図2に示すような多層構造のウエハが得られた。

【0016】以下に述べられる図3から図7は、ウエハ上の1つの素子のみを示す断面図であり、実際は、この素子が連続的に繰り返されたウエハについて、処理が行われ、その後、各素子毎に切断される。

【0017】図3に示すように、高キャリア濃度p⁺層52の上に、スパッタリングにより SiO_2 層11を 2000 \AA の厚さに形成した。次に、その SiO_2 層11上にフォトレジスト12を塗布した。そして、フォトリソグラフにより、高キャリア濃度p⁺層52上において、高キャリア濃度n⁺層3に至るように形成される孔15に対応する電極形成部位Aとその電極形成部を高キャリア濃度p⁺層52の電極と絶縁分離する溝9を形成する部位Bのフォトレジストを除去した。

【0018】次に、図4に示すように、フォトレジスト12によって覆われていない SiO_2 層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。次に、図5に示すように、フォトレジスト12及び SiO_2 層11によって覆われていない部位の高キャリア濃度p⁺層52とその下の低キャリア濃度p層51、低キャリア濃度n層4、高キャリア濃度n⁺層3の上面一部を、真空度 $0.04 Torr$ 、高周波電力 $0.44 W/cm^2$ 、 BCl_3 ガスを10 ml/分の割合で供給しド

イエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度n⁺層3に対する電極取出しのための孔15と絶縁分離のための溝9が形成された。

【0019】次に、図6に示すように、高キャリア濃度p⁺層52上に残っている SiO_2 層11をフッ化水素酸で除去した。次に、図7に示すように、試料の上全面に、Ni層13を蒸着により形成した。これにより、孔15には、高キャリア濃度n⁺層3に電氣的に接続されたNi層13が形成される。そして、そのNi層13の上にフォトレジスト14を塗布して、フォトリソグラフにより、そのフォトレジスト14が高キャリア濃度n⁺層3及び高キャリア濃度p⁺層52に対する電極部が残るように、所定形状にパターン形成した。

【0020】次に、図7に示すようにそのフォトレジスト14をマスクとして下層のNi層13の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングした。この時、絶縁分離のための溝9に蒸着されたNi層13は、完全に除去される。次に、フォトレジスト14をアセトンで除去し、高キャリア濃度n⁺層3の電極8、高キャリア濃度p⁺層52の電極7が残された。その後、上記の如く処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示すpn構造の窒化ガリウム系発光素子を得た。

【0021】このようにして製造された発光ダイオード10の発光強度を測定したところ $10 mcd$ であり、この発光輝度は、従来のpn接合のGaN発光ダイオードの発光輝度に比べて2倍であった。又、発光寿命は、 10^4 時間であり、従来のpn接合のGaN発光ダイオードの発光寿命に比べて1.5倍であった。

【0022】尚、上記実施例で用いたマグネシウムMgのドーピングガスは、上述のガスの他、メチルビスシクロペンタジエニルマグネシウム $Mg(C_5H_7)_2$ を用いても良い。

【0023】上記低キャリア濃度n層4の電子濃度は $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/cm^3$ で膜厚は $0.5 \sim 2 \mu m$ が望ましい。電子濃度が $1 \times 10^{16}/cm^3$ 以上となると発光強度が低下するので望ましくなく、 $1 \times 10^{14}/cm^3$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。又、膜厚が $2 \mu m$ 以上となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくなく、膜厚が $0.5 \mu m$ 以下となると発光強度が低下するので望ましくない。

【0024】更に、高キャリア濃度n⁺層3の電子濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19}/cm^3$ で膜厚は $2 \sim 10 \mu m$ が望ましい。電子濃度が $1 \times 10^{19}/cm^3$ 以上となると結晶性が悪化するので望ましくなく、 $1 \times 10^{16}/cm^3$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。又、膜厚が $10 \mu m$ 以上となると基板が湾曲するので望ましくなく、膜厚が $2 \mu m$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。

【0025】又、上記低キャリア濃度p層51のホール濃度は $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ で膜厚は $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ が望ましい。ホール濃度が $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上となると、低キャリア濃度n層4とのマッチングが悪くなり発光効率が低下するので望ましくなく、 $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 以下となると、直列抵抗が高くなり過ぎるので望ましくない。又、膜厚が $1 \mu\text{m}$ 以上となると、直列抵抗が高くなるので望ましくなく、膜厚が $0.2 \mu\text{m}$ 以下となると、発光輝度が低下するので望ましくない。

【0026】更に、高キャリア濃度p⁺層52のホール濃度は $1 \times 10^{16} \sim 2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ で、膜厚は $0.2 \mu\text{m}$ が望ましい。ホール濃度が $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上のp⁺層はできない。 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以下となると、直列抵抗が高くなるので望ましくない。又、膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ 以上となると、直列抵抗が高くなるので望ましくなく、膜厚が $0.1 \mu\text{m}$ 以下となると、ホールの注入効率が減少するので望ましくない。

【0027】第2実施例

図8において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1に500 ÅのAlNのバッファ層2が形成されている。そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $2.2 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープGaNから成る高キャリア濃度n⁺層3、膜厚約 $1.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のノンドープGaNから成る低キャリア濃度n層4が形成されている。更に、低キャリア濃度n層4の上には、順に、膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ 、Mg濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のMgドープGaNから成る低不純物濃度i層61、膜厚約 $0.2 \mu\text{m}$ 、Mg濃度 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の高不純物濃度i⁺層62が形成されている。

【0028】そして、その低不純物濃度i層61及び高不純物濃度i⁺層62の所定領域には、それぞれ、電子線照射によりp伝導型化したホール濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の低キャリア濃度p層501、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度p⁺層502が形成されている。

【0029】又、高不純物濃度i⁺層62の上面からは、高不純物濃度i⁺層62、低不純物濃度i層61、低キャリア濃度n層4を貫通して高キャリア濃度n⁺層3に至る孔15が形成されている。その孔15を通して高キャリア濃度n⁺層3に接合されたニッケルで形成された電極81が高不純物濃度i⁺層62上に形成されている。又、高キャリア濃度p⁺層502の上面には、高キャリア濃度p⁺層502に対するニッケルで形成された電極71が形成されている。高キャリア濃度n⁺層3に対する電極81は、高キャリア濃度p⁺層502及び低キャリア濃度p層501に対して高不純物濃度i⁺層62及び低不純物濃度i層61により絶縁分離されている。

【0030】次に、この構造の発光ダイオード10の製造方法について説明する。製造工程を示す図9から図15は、ウエハにおける1素子のみに関する断面図であ

り、実際には図に示す素子が繰り返し形成されたウエハに関して次の製造処理が行われる。そして、最後に、ウエハが切断されて各発光素子が形成される。

【0031】第1実施例と同様にして、図9に示すウエハを製造する。次に、図10に示すように、高不純物濃度i⁺層62の上に、スパッタリングによりSiO₂層11を2000 Åの厚さに形成した。次に、そのSiO₂層11上にフォトレジスト12を塗布した。そして、フォトリソグラフィにより、高不純物濃度i⁺層62において高キャリア濃度n⁺層3に至るように形成される孔15に対応する電極形成部位Aのフォトレジストを除去した。

【0032】次に、図11に示すように、フォトレジスト12によって覆われていないSiO₂層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。次に、図12に示すように、フォトレジスト12及びSiO₂層11によって覆われていない部位の高不純物濃度i⁺層62とその下の低不純物濃度i層61と低キャリア濃度n層4と高キャリア濃度n⁺層3の上面一部を、真空度0.04 Torr、高周波電力 $0.44 \text{ W}/\text{cm}^2$ 、BCl₃ガスを10 ml/分の割合で供給しドライエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度n⁺層3に対する電極取出しのための孔15が形成された。次に、図13に示すように、高不純物濃度i⁺層62上に残っているSiO₂層11をフッ化水素酸で除去した。

【0033】次に、図14に示すように、高不純物濃度i⁺層62及び低不純物濃度i層61の所定領域にのみ、反射電子線回析装置を用いて電子線を照射して、それぞれp伝導型を示すホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度p⁺層502、ホール濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の低キャリア濃度p層501が形成された。

【0034】電子線の照射条件は、加速電圧10KV、試料電流1 μA、ビームの移動速度0.2 mm/sec、ビーム径60 μm φ、真空度 2.1×10^{-6} Torrである。この時、高キャリア濃度p⁺層502及び低キャリア濃度p層501以外の部分、即ち、電子線の照射されなかった部分は、絶縁体の高不純物濃度i⁺層62及び低不純物濃度i層61のままである。従って、高キャリア濃度p⁺層502及び低キャリア濃度p層501は、縦方向に対しては、低キャリア濃度n層4に導通するが、横方向には、周囲に対して、高不純物濃度i⁺層62及び低不純物濃度i層61により電気的に絶縁分離されている。

【0035】次に、図15に示すように、高キャリア濃度p⁺層502と、高不純物濃度i⁺層62と、高不純物濃度i⁺層62の上面と孔15を通して高キャリア濃度n⁺層3とに、Ni層20が蒸着により形成された。そして、そのNi層20の上にフォトレジスト21を塗布して、フォトリソグラフィにより、そのフォトレジスト21が高キャリア濃度n⁺層3及び高キャリア濃度p⁺層502に対する電極部が残るように、所定形状にパターン形成した。次に、そのフォトレジスト21をマスクとし

て下層のNi層20の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングし、フォトレジスト21をアセトンで除去した。このようにして、図8に示すように、高キャリア濃度 n^+ 層3の電極81、高キャリア濃度 p^+ 層502の電極71を形成した。その後、上述のように形成されたウエハが各素子毎に切断された。

【0036】このようにして製造された発光ダイオード10の発光強度を測定したところ、第1実施例と同様に、10mcdであり、発光寿命は 10^4 時間であった。

【0037】第3実施例

図16に示すように発光ダイオード10を構成することもできる。即ち、バッファ層2の上に、順に、膜厚約0.2 μ m、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 p^+ 層52、膜厚約0.5 μ m、ホール濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のMgドープGaNから成る低キャリア濃度 p 層51が形成されている。そして、低キャリア濃度 p 層51上に、順に、膜厚約1.5 μ m、電子濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のノンドープGaNから成る低キャリア濃度 n 層4、膜厚約2.2 μ m、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープGaNから成る高キャリア濃度 n^+ 層3が形成されている。

【0038】そして、高キャリア濃度 p^+ 層52に接続するニッケルで形成された電極72と高キャリア濃度 n^+ 層3に接続するニッケルで形成された電極82とが形成されている。電極82と電極72とは、高キャリア濃度 n^+ 層3、低キャリア濃度 n 層4及び低キャリア濃度 p 層51に形成された溝91により電氣的に絶縁分離されている。

【0039】このように、本実施例は、第1実施例と異なり、 p 層と n 層との基板1に対する堆積順序を逆にしたものである。製造は第1実施例と同様に行うことができる。

【0040】第4実施例

図1に示す構造の第1実施例の発光ダイオードにおいて、高キャリア濃度 n^+ 層3、低キャリア濃度 n 層4、低キャリア濃度 p 層51、高キャリア濃度 p^+ 層52を、それぞれ、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.3}\text{N}$ とした。高キャリア濃度 n^+ 層3は、シリコンを添加して電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ に形成し、低キャリア濃度 n 層4は不純物無添加で電子濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ に形成した。低キャリア濃度 p 層51はマグネシウム(Mg)を添加して電子線を照射して正孔濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ に形成し、高キャリア濃度 p^+ 層52は同じくマグネシウム(Mg)を添加して電子線を照射して正孔濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ に形成した。そして、高キャリア濃度 p^+ 層52に接続するニッケルで形成された電極7と高キャリア濃度 n^+ 層3に接続するニッケルで形成された電極8とを形成した。

【0041】次に、この構造の発光ダイオード10も第1実施例の発光ダイオードと同様に製造することができる。トリメチルインジウム($\text{In}(\text{CH}_3)_3$)がTMG、TMA、シラン、 CP_2Mg ガスに加えて使用された。生成温度、ガス

流量は第1実施例と同じである。トリメチルインジウムを 1.7×10^{-4} モル/分で供給することを除いて他のガスの流量は第1実施例と同一である。

【0042】次に、第1実施例と同様に、反射電子線回析装置を用いて、上記の高キャリア濃度 p^+ 層52及び低キャリア濃度 p 層51に様に電子線を照射して p 伝導型半導体を得ることができた。

【0043】このようにして製造された発光ダイオード10の発光強度を測定したところ10mcdであり、この発光輝度は、従来の $p-n$ 接合のGaN発光ダイオードの発光輝度に比べて2倍であった。又、発光寿命は、 10^4 時間であり、従来の $p-n$ 接合のGaN発光ダイオードの発光寿命に比べて1.5倍であった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な第1実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図5】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図6】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図7】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図8】本発明の具体的な第2実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図9】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図10】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図11】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図12】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図13】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図14】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図15】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図16】本発明の具体的な第3実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【符号の説明】

10…発光ダイオード

1…サファイア基板

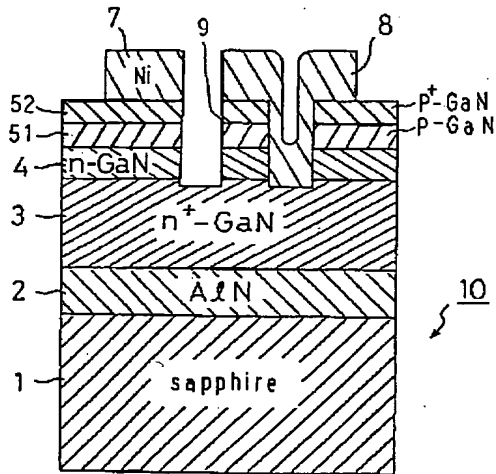
2…バッファ層

3...高キャリア濃度 n^+ 層4...低キャリア濃度 n 層51, 501...低キャリア濃度 p 層52, 502...高キャリア濃度 p^+ 層61...低不純物濃度 i 層62...高不純物濃度 i^+ 層

7, 8, 71, 72, 81, 82...電極

9, 91...溝

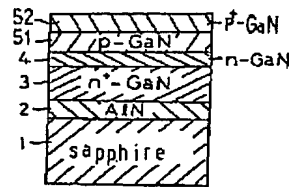
【図1】



【図4】

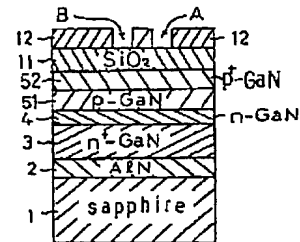
【図5】

【図2】

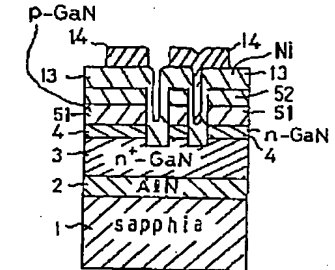
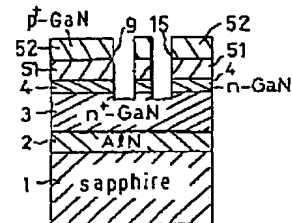


【図6】

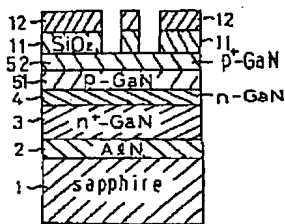
【図3】



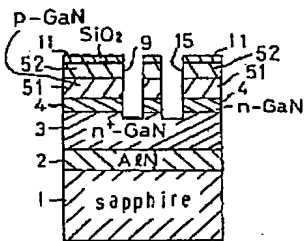
【図7】



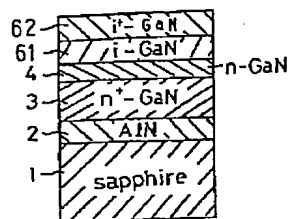
【図10】



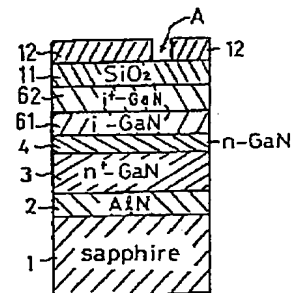
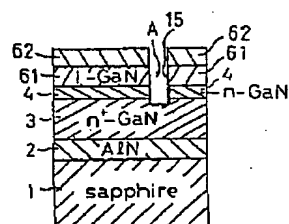
【図8】



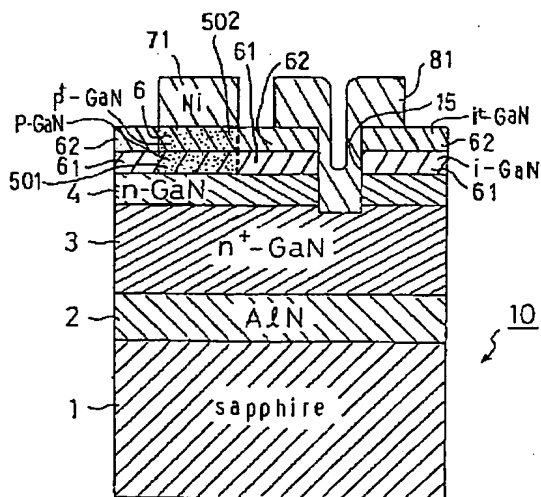
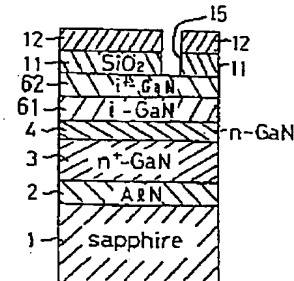
【図9】



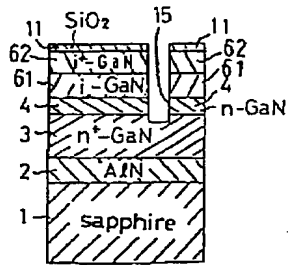
【図13】



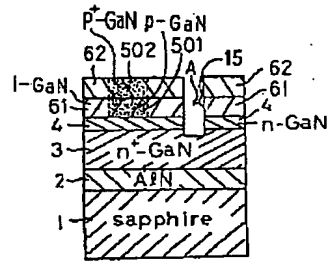
【図11】



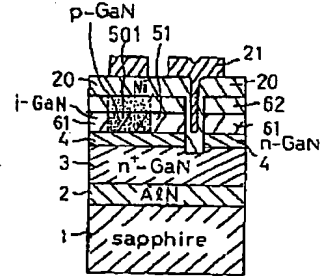
【図 1 2】



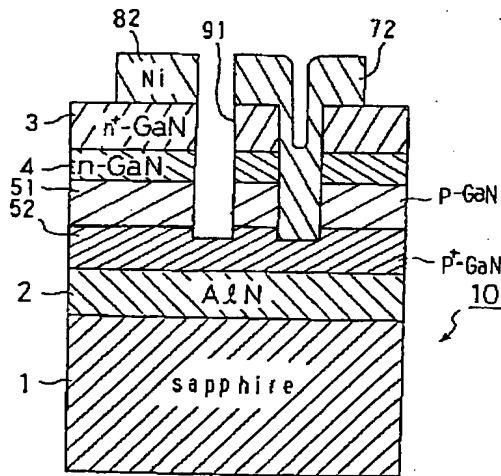
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



フロントページの続き

(72)発明者 野村 静代

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1

番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 梅崎 潤一

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1

番地 豊田合成株式会社内